

Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б.

**[АВТОКОЛЕБАНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА АВИАЦИОННЫХ ГТД](#)**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2008/7/2.html](http://www.gramota.net/materials/1/2008/7/2.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**[Альманах современной науки и образования](#)**

Тамбов: Грамота, 2008. № 7 (14). С. 9-10. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2008/7/](http://www.gramota.net/materials/1/2008/7/)

**[© Издательство "Грамота"](#)**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

Разработанный универсальный метод моделирования различных установившихся и неустойчивых режимов работы двигателей и их систем управления включает:

1. Библиотеку моделей структурных элементов (СЭ) ГТД (входное устройство, компрессор, камера сгорания, турбина, сопло, выхлопной патрубок, смеситель, разделитель, переходный канал, пусковое устройство, форсажная камера сгорания и т.д.) и элементов систем управления (регуляторы, датчики и т.д.).

2. Препроцессор - обеспечивает синтез модели (структурный и параметрический), указание термогазодинамических, механических, гидравлических и др. связей (трассировка потоков), задание и редактирование параметров и характеристик СЭ, задание условий, реализующих заданную проектно-доводочную задачу (формализованное построение «закона расчета») в виде условий для задачи многовариантного, многокритериального анализа и (или) синтеза с табуляцией параметров - для решателя (процессора) СИМ.

3. Процессор (решатель СИМ) - обеспечивает последовательную активизацию моделей СЭ в соответствии с матрицей инцидентности ориентированного графа (с учетом трассировки потоков - связей СЭ), управление (по аналогии с регулятором в САУ) движением имитационной моделью от начальных условий к решению в соответствии с законом расчета (за счет вариации указанных варьируемых параметров и приведения «поддерживаемых» параметров в заданные области с заданной точностью). В процессоре имеется библиотека численных методов оптимизации (обычно используется метод Ньютона, а для интегрирования - метод Эйлера или Рунге-Кутты. Для учета накладываемых границ используется метод штрафных функций.

4. Постпроцессор - обеспечивает отображение и документирование результатов, в т. ч. в форматах обмена с другими приложениями.

5. Архив - обеспечивает хранение библиотек моделей ГТД и характеристик СЭ.

6. Редактор характеристик СЭ - обеспечивает задание, редактирование, доступ к характеристикам СЭ (элементов ГТД, их САУ) в табличном, графическом виде, задание в виде файлов и аналитических зависимостей.

СИМ DVIGwr является открытой системой и базируется на FrameWork САМСТО [2, 4], предназначенной для создания автономных приложений, ориентированных на моделирование различных технических объектов и систем, что дает возможность пользователю вносить добавления, изменения для решения конкретных задач, создавать новые СЭ и информационные потоки.

Таким образом, разработанная СИМ DVIGwr позволяет решать широкий круг проектно-доводочных задач: термогазодинамические расчеты, идентификацию моделей, расчеты характеристик; исследование свойств ГТД и их САУ на установившихся и неустойчивых режимах при различных внешних и внутренних воздействиях, в т.ч. нештатных ситуациях; научно-методическое сопровождение натуральных испытаний и отладки, выбор законов управления и параметров двигателя и элементов его управления.

#### *Список использованной литературы*

1. **Ахмедзянов, Д. А.** Система термогазодинамического моделирования газотурбинных двигателей на переходных режимах работы DVIGwr / Д. А. Ахмедзянов, И. А. Кривошеев, Е. С. Власова: Свидетельство № 2004610868. - Москва: Роспатент, 2004.

2. **Проектирование авиационных газотурбинных двигателей:** Учебник / Под общей ред. проф. А. М. Ахмедзянова. - М.: Машиностроение, 2000. - 454 с.

3. **Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок:** Учебник / Под общей ред. В. А. Сосунова, В. М. Чепкина. - М.: МАИ, 2003. - 688 с.

4. **Тунаков, А. П.** САПР авиационных ГТД / А. П. Тунаков, И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов. - Уфа: УГАТУ, 2005. - 272 с.

## АВТОКОЛЕБАНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА АВИАЦИОННЫХ ГТД

*Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б.*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

*Работа выполнена в рамках гранта МД-256.2008.8*

Автоколебания (флаттер) рабочих лопаток компрессоров является одной из основных причин, затрудняющих доводку, а в отдельных случаях, и ограничивающих режимы эксплуатации ГТД. Возникновение автоколебаний часто приводит к поломкам лопаток и, как следствие этого к тяжелым последствиям, как для компрессора, так и для двигателя в целом [1, 2].

При обтекании упругих тел, в частности лопаток турбомашин, установившимся потоком при определенных условиях возможен обмен энергией между потоком и телами. Если энергия отводится от колеблющегося тела в поток, то колебания будут затухать, и это явление называется аэродемпфированием. Если энергия от потока подводится к колеблющемуся телу, то могут возникнуть незатухающие колебания. Такого рода колебания, когда энергия черпается из постоянного источника (в данном случае установившегося потока), называются автоколебаниями. Применительно к крыльям самолета и лопаткам турбомашин такого рода автоколебания называют обычно флаттером. Следует подчеркнуть, что автоколебания принципиально отличаются от вынужденных колебаний, которые вызываются переменным во времени источником энергии,

например неустановившимся потоком, и частота колебаний при этом равна частоте пульсаций потока. Частота же автоколебаний (флаттера) зависит от характеристик упругой системы и потока. Если рассматривается флаттер достаточно массивных тел (металлических лопаток) в потоке газа, то частота колебаний очень близка к одной из собственных частот колеблющейся системы.

Если классифицировать колебания не по их виду, а по природе процессов, их вызывающих, то можно четко выделить два основных типа: резонансные (вынужденные) колебания и автоколебания. Каждый из этих типов можно в свою очередь подразделить на несколько видов, отличающихся непосредственно причинами их вызывающими, режимами обтекания лопаток и степенью влияния режима обтекания на уровень и характер развития напряжений.

Резонансные колебания - это периодические, со стабильной амплитудой колебания, частота которых кратна числу оборотов компрессора. Эти колебания возбуждаются гармониками неподвижной неравномерности потока по окружности, вызываемой различными конструктивными причинами (стойки, отверстия для перепуска воздуха, лопатки предшествующих и последующих венцов и т.д.). Источником возбуждения может быть и необнаруживаемая явно окружная неравномерность потока, вызываемая некоторой несимметрией условий входа потока в компрессор или выхода из него.

Резонансные колебания могут возбуждаться в широком диапазоне частот, соответствующих различным формам свободных колебаний. Общая неравномерность потока обычно возбуждает резонанс по первой и второй формам; неравномерности, вызванные конечным числом лопаток соседних венцов, возбуждают высокочастотные колебания высших форм. В каждой лопатке максимальные напряжения достигаются на разных оборотах, при которых частота возбуждающей силы совпадает с частотой собственных колебаний данной лопатки.

При работе компрессора на нерасчетных режимах нередко возникают интенсивные колебания лопаток, которые по своей природе являются автоколебаниями. Они вызываются не внешней периодической силой, а возникают вследствие той взаимосвязи, которая существует между силовым воздействием потока на лопатку и ее колебаниями.

Возбуждение автоколебаний мало зависит от физического числа оборотов компрессора; режимы самовозбуждения определяются только безразмерными (приведенными) параметрами, задающими при различных внешних условиях подобные режимы обтекания. Вблизи границы самовозбуждения напряжения при автоколебаниях резко нарастают при малом изменении режима обтекания лопатки.

Частота автоколебаний всегда практически совпадает с частотой одной из низших форм собственных колебаний и практически не зависит от скорости потока. В этом одно из коренных отличий автоколебаний лопаток компрессоров от классического крутильно-изгибного флаттера крыла, который происходит с частотой, существенно отличающейся от частот свободных изгибных и крутильных колебаний в вакууме. Малое влияние параметров потока на частоту автоколебаний - следствие в основном относительно высокой жесткости и плотности лопаток компрессора. Этим объясняется и тот факт, что классический флаттер в лопатках компрессоров не наблюдается.

Для оценки устойчивости к автоколебаниям рассчитываются критериальные параметры проверяемой ступени, определяемые соотношением аэродинамических и упругих сил, числом Струхала, коэффициентом изгибно-крутильной связности колебаний, коэффициентом расхода. Проводится сравнение положения проверяемой ступени и статистической границы автоколебаний в плоскости критериальных параметров. Подсчитывается коэффициент запаса устойчивости к автоколебаниям. Коэффициент запаса устойчивости носит приближенный, вероятностный характер.

Оценка устойчивости лопаток компрессора к автоколебаниям может быть проведена еще на этапе проектирования [2], что облегчит доводку, в некоторых случаях расширит эксплуатационный диапазон режимов компрессора, а следовательно и затраты на проектно-доводочные работы.

#### *Список использованной литературы*

1. **Самойлович, Г. С.** Возбуждение колебаний лопаток турбомашин / Г. С. Самойлович. - М.: Машиностроение, 1975. - 288 с.
2. **Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок:** Учебник / Под общей ред. В. А. Сосунова, В. М. Чепкина. - М.: МАИ, 2003. - 688 с.

### РАСЧЕТ ИЗБЫТОЧНОЙ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ МИКРОЧАСТИЦЫ И ЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В ВИДЕ СУММЫ ЛИНЕЙНОГО И ТОРЦЕВОГО ВКЛАДА

*Базулев А. Н., Самсонов В. М., Сдобняков Н. Ю., Кульпин Д. А.  
Тверской государственный университет*

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-03-00243-а)*

Дисперсными системами называются системы, в которых одна из фаз присутствует в мелко раздробленном виде. Измельченное вещество называется диспергированной фазой, а окружающую среду - дисперсной